

2018 年

博士論文（体育学）学位審査論文

バレーボール選手および水泳選手の
ジャンプ高に関連する因子の比較検討

Comparison of factors related to jump performance
in volleyball players and swimmers

2019 年 3 月 19 日学位授与

中京大学大学院体育学研究科体育学専攻

吉村 真美

（指導教授：梅村 義久）

目次

構成	1
第1章 序論	3
第1節 スポーツにおけるジャンプ動作	4
第2節 ジャンプに関連する体力要素	6
2-1. 下肢筋力とジャンプ高との関連	8
2-2. 筋・腱の形態とジャンプ高との関連	9
2-3. 筋・腱の力学的特性とジャンプ高との関連	10
第3節 バレーボール選手と水泳選手の特徴	13
第4節 本研究の目的	16
第2章 アキレス腱の形態、足関節の力学的特性および下肢筋力が ジャンプ高に及ぼす影響 ーバレーボール選手と水泳選手の比較検討ー	17
第1節 目的	18

第2節	方法	18
第3節	結果	23
第4節	考察	25

第3章 下肢筋力発揮特性および筋の形状がジャンプ高に及ぼす 影響

―バレーボール選手と水泳選手の比較検討― 39

第1節	目的	40
第2節	方法	40
第3節	結果	44
第4節	考察	46

第4章 総括 57

本研究の目的に対する結論とまとめ	58
参考文献	61
謝辞	70

構成

本論文は以下の 2 編により構成されている。

1. Comparison of Factors Related to Jump Performance in Volleyball Players and Swimmers. 【第 2 章を構成】

Mami Yoshimura, Yoshihisa Umemura.

Journal of Exercise Physiology Online, 19(4): 53-65, 2016.

**2. 下肢筋力発揮特性および筋の形状がジャンプ高に及ぼす影響
ーバレーボール選手と水泳選手の比較検討ー 【第 3 章を構成】**

吉村 真美, 梅村 義久.

Journal of Training Science for Exercise and Sport, in press, 2018.

第1章

序論

第1節 スポーツにおけるジャンプ動作

第2節 ジャンプに関連する体力要素

2-1. 下肢筋力とジャンプ高との関連

2-2. 筋・腱の形態とジャンプ高との関連

2-3. 筋・腱の力学的特性とジャンプ高との関連

第3節 バレーボール選手と水泳選手の特徴

第4節 本研究の目的

第1節 スポーツにおけるジャンプ動作

ジャンプは多くの競技の中で用いられている動作の1つである。ジャンプには反動を用いないで行うスクワットジャンプ(SJ)や、反動を用いておこなうカウンタームーブメントジャンプ(CMJ)、連続して行うリバウンドジャンプ(RJ)、台から降りて足が床に付いた瞬間に再び素早くジャンプするドロップジャンプ(DJ)などがある。反動を用いるジャンプでは、主動作を行う前に筋を引き伸ばすことで腱に弾性エネルギーを蓄積し、その後、素早く筋を収縮する時に蓄えていた弾性エネルギーを放出することにより、短い時間で大きな力を発揮してジャンプすることができる。このように、動作の前に筋を伸ばし、その後再び収縮する動作をストレッチショートニングサイクル(SSC)と呼び、様々なスポーツで用いられている筋の収縮様式である^{16, 34, 44)}。SSCを用いるジャンプを多用するスポーツとしては、陸上競技、バレーボール、バスケットボールなどが挙げられる。一方、SSCを用いるジャンプをほとんど行わないスポーツとしては、水泳、カヌー、自転車競技などが挙げられる。

陸上の跳躍種目においては、ジャンプの高さが勝敗に直接的に結びつく場合もあり、より高いジャンプ高は必須である。また、バレーボールやバスケットボールにおいては、ジャンプ高は勝敗に直接的には結び付かないものの、勝敗に関わる大きな因子と考えられるためより高いジャンプ高は重要となる。そのため、ジャンプ高が重要となる競技の

選手においてはジャンプ高増大のために筋力トレーニングや SSC を用いたプライオメトリックトレーニングなど、様々なトレーニングが行われている^{9, 31, 37)}。一方、ジャンプを用いない競技の選手においては SSC を用いたプライオメトリックトレーニングはあまり行われていない。

第2節 ジャンプに関連する体力要素

ジャンプに関連している体力要素としては筋力や筋パワー、筋腱のスティフネス、筋の形態、関節トルクなどが挙げられる^{11, 12)}。

ジャンプ動作は膝を曲げて素早く地面を蹴り出す動作のため、股関節や膝関節の伸展筋力または筋パワー、足関節の底屈筋力や筋パワーが増加するとジャンプ高も増加する³⁵⁾。男子大学生 20 名を被験者とした反動・振込み動作を用いたジャンプの踏み切り時における各関節でのパワー発揮に関する研究⁴⁹⁾においては、垂直跳びの全身に対する各関節のパワーの貢献度は股関節、膝関節、足関節それぞれ 52.3%、32.3%、17.9%と示されている。さらに、Ae ら¹⁾は垂直跳びの踏み切りを例にした身体各部の貢献度に関する研究においては、下肢の貢献度が高いことを報告している。また、陸上跳躍種目を専門とする男性 33 名を対象としたリバウンドジャンプ高と下肢筋力および筋パワーに関する研究⁵¹⁾においては、各関節が発揮した絶対仕事を下肢 3 関節の総仕事で除した相対仕事として算出した体重あたりの各関節仕事の貢献度は股関節、膝関節、足関節それぞれ $8.58 \pm 2.47\%$ 、 $30.27 \pm 6.21\%$ 、 $61.17 \pm 6.53\%$ と示している。

このようにジャンプの種類において各関節の貢献度は異なるが、下肢の筋力や筋パワーの重要性が指摘されている。

筋力は筋断面積に比例することからジャンプに関わる筋の肥大は筋力を増加させジ

ジャンプ高を増大させる。筋の形態に関連する指標には筋厚や周径位など筋肥大に関連するものがあり、それらはジャンプ高に関連する因子となり得る。また、筋肥大に伴い筋線維の走行の角度が変化することから、筋の羽状角もジャンプ高に関連する因子と考えられる¹⁸⁾。

一方、筋腱複合体の力学的特性を示す筋腱複合体のスティフネスについてもジャンプ高に関連する因子として研究されている。スティフネスとは、「力ー変位」曲線の傾きとして算出され、組織の変形しにくさを示す指標である。「力ー変位」曲線の傾きが大きい場合、組織は高いスティフネスをもっており、同じ力に対して変形が少ない。一方、傾きが小さい場合、組織のスティフネスは低く、同じ力に対しての変形が大きい。トレーニングなどによってスティフネスが増加した場合、筋腱複合体を伸長させるためには、より大きな力が必要となる⁴⁾。プライオメトリックトレーニングを行うと筋腱複合体のスティフネスが増加し、それに伴ってジャンプ高も増加したとの報告があることから、適度に高い筋腱複合体のスティフネスはジャンプ高に重要であると考えられる^{7, 9, 10)}。プライオメトリックトレーニングとは、SSCを用いて行うトレーニング方法で、短い時間で大きなパワーを発揮する能力を向上させるために用いられている。

さらに、下肢の関節角度^{13, 19, 41)}や関節トルク²⁵⁾、関節モーメント⁶⁾においてもジャンプに関連する因子となる可能性がある。

2-1. 下肢筋力とジャンプ高との関連

いくつかの競技の競技者および一般人や学生において、速い角速度だけではなく、遅い角速度での等速性下肢筋力とジャンプ高との間に有意な相関関係があることと示されている^{20, 51)}。Rouis ら³⁸⁾はトップレベルの女子バスケットボール選手 18 名を対象に垂直ジャンプ高と 4 種類の異なる角速度で膝関節伸展・屈曲筋力との関連について検討したところ、垂直ジャンプ高と角速度 180 degree/sec、240 degree/sec での膝関節伸展屈曲筋力には有意な相関があったと報告している。この結果は、競技特性としてジャンプを多用する競技を長期間行ってきた選手においては、ジャンプ高と速い角速度での下肢筋力との間に有意な相関があることを示唆している。一方、相澤ら²⁾は一般成人 16 名を対象にジャンプ高と 3 種類の異なる角速度での股関節の伸展屈曲筋力の関連について検討したところ、垂直ジャンプ高と角速度 60 degree/sec、180 degree/sec、300 degree/sec での股関節屈曲筋力との間に有意な相関があったと報告している。また、Tsiokanos ら⁵⁰⁾は男子体育学部生 29 名を対象にジャンプ高と股関節、膝関節の伸展筋力、足関節の底屈筋力の関連について検討したところ、SJ 高、CMJ 高と 120 degree/sec、180 degree/sec での股関節の伸展筋力、60 degree/sec、120 degree/sec、180 degree/sec での膝関節の伸展筋力に有意な相関があったと報告している。

しかしながら、このような下肢筋力とジャンプ高との関連が全ての対象者において成

立するか否かは明らかではない。競技パフォーマンス向上のためにウェイトトレーニングを行っているものの、水泳選手のように競技特性としてジャンプ動作を多用しない競技を行っている選手は、先行研究を支持するような結果を得られない可能性があると考えられる。

2-2. 筋・腱の形態とジャンプ高との関連

筋腱の形態に関連するいくつかの指標はジャンプ高に関連していることが先行研究で示されている。勝田ら²¹⁾の男子バレーボール選手7名と非鍛錬者5名を比較した研究においては、バレーボール選手は非鍛錬者よりもSJ高、DJ高、ホッピングの跳躍高が有意に高く、アキレス腱断面積のみ群間で有意差があったが、アキレス腱長、アキレス腱の腱容積、ヒラメ筋長で除したアキレス腱長、体重で除したアキレス腱の腱断面積、体重で除したアキレス腱の腱容積は、両群間で有意差はなかったと報告している。また、SJ高およびDJ高とアキレス腱の腱容積との間に有意な相関があった一方で、アキレス腱長やアキレス腱の腱断面積との間に有意な相関はなかったとしている。

筋の形態に関するいくつかの指標もジャンプ高と関連している。羽状筋である大腿四頭筋は膝関節伸展に働き、腓腹筋は膝関節屈曲と足関節底屈に関与していることから、これら2つの羽状筋はジャンプ動作に大きく関連している³³⁾。羽状筋の羽状角はトレーニングを行うと大きくなることから、筋肥大を示しており、筋力および筋パワーと関連

していると考えられる^{23,24)}。Erap ら⁸⁾は男子学生 25 名を対象に外側広筋および外腓腹筋の羽状角とジャンプ高の関連を研究したところ、外側広筋の羽状角と SJ 高、CMJ 高には有意な相関関係がなかったと報告している。しかしながら、この先行研究⁸⁾では一般学生を被験者としており、長期間行っているアスリートにおいて羽状角とジャンプ高との関係の有無は明らかにされていない。また、大腿四頭筋の膝関節伸展では広筋群(外側広筋、内側広筋、大腿直筋)の働きの多く、特に外側広筋の関与が高いため²⁶⁾、外側広筋の羽状角とジャンプ高には関連がある可能性があるが検討されていない。

2-3. 筋・腱の力学的特性とジャンプ高との関連

腱のスティフネスや関節スティフネスもジャンプ高に関連する因子として挙げられる^{7, 9, 10)}。関節スティフネスとは、腱を含めた関節周りの皮膚や脂肪組織の複合的なスティフネスである。ジャンプ高に関連するスティフネスの算出方法は大きく分けて2つある。能動的な等尺性収縮中における腱の伸長量—トルク曲線から腱のスティフネスを算出する方法^{7, 9)}と、受動的に関節を屈曲させる中での関節角度—トルク曲線から関節スティフネスを算出する方法^{14, 40)}である。また、それぞれの曲線において、どの点の伸長量または関節角度における傾きをスティフネスの代表値とするかについても研究によって異なっている。能動的な等尺性収縮中のアキレス腱の伸長量—トルク曲線から算出する方法は、1990 年代から用いられているものの、能動的に徐々に力を加えてい

くことが難しいという欠点があり、必ずしも再現性が高くないと考えられる。一方、受動的に関節を屈曲させる中での足関節角度—トルク曲線から関節スティフネスを算出する方法では、随意で行う収縮がないために再現性が高いと考えられる。

Bojsen-Møller ら⁷⁾の横断的な研究では、男子バレーボール選手 8 名と男子サイクリスト 8 名において能動的な等尺性収縮中の外側広筋の腱膜の移動量を伸長量とし、伸長量—トルク曲線で腱のスティフネスを算出した。その結果、スティフネスと SJ 高および CMJ 高との間には相関関係はないことを示した。Kubo ら³⁰⁾の横断的研究では、一般人の男性 24 名で能動的な等尺性収縮中のアキレス腱伸長量—トルク曲線で腱のスティフネスの測定を行ったところ、腱スティフネスと SJ 高との間に有意な相関関係があった。しかしながら、DJ 中の足関節角度とトルクから計算(足関節トルクの変化/足関節角度の変化)して算出した足関節スティフネスと SJ 高、CMJ 高、DJ 高との間に相関関係はないことを示した。この結果は、腱のスティフネスが SJ 高に関連する因子であることを示唆している。一方、Alexandre ら⁹⁾の 14 週間のプライオメトリックトレーニングを介入した縦断的な研究では、一般人の男性 19 名において能動的な等尺性収縮中のアキレス腱伸長量—トルク曲線で腱スティフネスを測定した。トレーニング群 9 名においてトレーニングの前後を比較すると、SJ 高、CMJ 高、RJ 高が有意に向上し、腱スティフネスも有意に向上したと示した。この結果は、腱のスティフネスがジャンプ高に関連する因子であることを示唆している。

このように、能動的な等尺性収縮中に測定されたスティフネスとジャンプ高に関連する研究はあるものの、再現性が高いと考えられる受動的な方法で測定された関節スティフネスとジャンプ高との関連を示す研究は少ない。

第3節 バレーボール選手と水泳選手の特徴

いくつかの競技のアスリートにおいて体力要因とジャンプの関連を比較した論文は多く、ジャンプと関連する要因について検討された論文も散見される^{17, 39, 56)}。たとえば、いくつかの競技の選手の集団において、等速性膝関節伸展筋力と最大ジャンプ高との間に有意な相関関係があることが知られているなど^{38, 42)}、ジャンプ高に関連する因子については報告されている。しかしながら、競技をしぼってジャンプ高に関連する複数の因子を統合的にかつ詳細に検討した研究は少なく、そのような研究はジャンプ高を向上させるためのより効率的なトレーニングの開発に役立つ可能性がある。そのため本研究では、ジャンプ高に関連する体力因子についてバレーボール選手と水泳選手を対象に検討することとした。

競技特性としてジャンプを多用するバレーボールでは、高いジャンプ高が勝敗を決定する一因になると考えられる。そのため、ジャンプ高向上のためのトレーニングは選手にとって重要となる。岡野ら³⁶⁾の男子バレーボール選手の試合中における跳躍頻度に関する研究の結果では、25点マッチの跳躍頻度はセッターが 32.3 ± 4.4 回、ウイングスパイカーが 18.9 ± 3.3 回、ミドルブロッカーが 26.6 ± 4.1 回、オポジットが 22.9 ± 5.5 回、リベロが 1.1 ± 1.1 回であったと報告している。また、明石ら³⁾は一般の男子大学生と大学に所属する異なる8種類の競技選手の身体形態やパワーを比較した結果、バ

レーボール選手の身長や体重、胸囲、大腿囲、最大無酸素パワーは一般学生やサッカー選手、陸上長距離選手、弓道選手と比較して高いと報告している。

一方、水泳選手はスタート時の飛び込みやキック動作、ターン動作はあるものの、競技特性として水中にいる機会が多く、水の抵抗が生じるため速い速度を伴って鉛直方向に高く跳ぶジャンプ動作は少ない。さらに、水泳では、大きく分けて2つの種類のターン動作がある。両手で壁を触れてから身体を方向転換して壁を蹴り出すタッチターンと水中で回転して素早く壁を蹴り出すクイックターンである。タッチターンは平泳ぎやバタフライの選手が用いるターン動作で、クイックターンは自由形のクロールや背泳ぎの選手で用いられることが多い。このように、種目によってターン動作での足が側壁に着く接地時間が異なる可能性が考えられる。また、水泳においてスタート時やターン動作でのSSCがあるもののバレーボールにおけるジャンプ動作でのSSCと筋発揮様式が異なる可能性が考えられる。

水泳選手のようなジャンプ高が勝敗に直結しない競技においては、けのび動作と力発揮との関係についての研究^{47, 48)}や、スタート時のパフォーマンスと下肢筋力との関係についての研究⁴⁷⁾が行われている。角田ら⁵²⁾の種目別で形態や筋出力を比較した研究では、水泳選手の大腿部の筋厚は一番低く、等速性膝関節伸展屈曲筋力は長距離走者と同等の値であったと示している。

また、田中ら⁴⁸⁾の一般男子大学生と競技別の形態を比較した研究では、バレーボール

選手の身長、体重、体表面積、胸囲、上腕囲、大腿囲は一般男子学生よりも有意に大きく、水泳選手の体重、胸囲、上腕囲、大腿囲は一般男子学生よりも有意に大きいこと報告している。バレーボール選手と水泳選手の身長と体重の平均値は一般学生の身長と体重の平均値よりも高く、バレーボール選手ではより平均値が高いと報告している。

第4節 本研究の目的

本研究では、筋腱の形態、腱の力学的特性、筋力発揮特性について、長期間競技を行ってきたバレーボール選手と水泳選手で比較検討することとした。これらを明らかにすることで、これらのアスリートにおいてジャンプに関連する因子であるか否かを明らかにし、アスリートにおいてジャンプを高める因子について検討することを目的とした。これらを明らかにすることによって、ジャンプ高が勝敗に関係するような競技種目において、ジャンプ高を向上させるためのより効率の良いトレーニングの開発に役立つと考える。

第 2 章

アキレス腱の形態、足関節の力学的特性および下肢筋力が

ジャンプ高に及ぼす影響

—バレーボール選手と水泳選手の比較検討—

第 1 節 目的

第 2 節 方法

第 3 節 結果

第 4 節 考察

第1節 目的

本章の目的は、長期間競技を行ってきたバレーボール選手と水泳選手において、アキレス腱の形態、足関節の力学的特性、下肢筋力を比較検討し、これらのアスリートにおいてジャンプに関連する因子であるか否かを明らかにすることを目的とした。

第2節 方法

1. 被験者

被験者は大学の体育会系クラブに所属する男子水泳選手 17 名 (年齢 : 20 ± 1 歳、競技歴 : 15 ± 2 年、身長 : 174.6 ± 6.2 cm、体重 : 70.0 ± 6.9 kg) と男子バレーボール選手 16 名 (年齢 : 20 ± 1 歳、競技歴 : 10 ± 2 年、身長 : 180.9 ± 4.0 cm、体重 : 76.3 ± 9.1 kg) とした。水泳群は 1 回あたり約 2 時間の朝夕の練習を週 10 回行う全日本インカレ出場レベルの選手であり、バレーボール群は 1 回あたり約 2 時間の練習を週 6 回行う全日本インカレ出場レベルの選手であった。現役で専門競技をしていない者や下肢に怪我を有している選手は除外し、バレーボール選手においては、競技特性として日頃ジャンプ動作が多いアタッカーを被験者とした。水泳選手においては、短距離選手 6 名、中距離選手 9 名、長距離選手 2 名であった。また、専門種目別では自由形 8 名、バタフライ 5 名、背泳ぎ 1 名、平泳ぎ 1 名、個人メドレー 1 名であった。

全ての被験者に対し、口頭と書面において事前に研究の目的と方法、測定に伴う危険性など十分に説明し、書面にて同意を得た後に研究を行った。また、未成年の被験者には被験者本人と保護者の同意書を得た。本章の研究は中京大学倫理委員会の承認を得て行った。

2. 実験のプロトコル

2-1. ジャンプ高の測定

ジャンプ高の測定項目は、スクワットジャンプ(SJ)、カウンタームーブメントジャンプ(CMJ)、リバウンドジャンプ(RJ)高とした。ジャンプマット(Multi Jump Tester II, DKH, Japan)を用いて、滞空時間から各ジャンプ高を測定した。SJ は膝をある程度曲げた姿勢から、反動を使わないで垂直に跳ぶジャンプで、CMJ は反動を使って垂直に跳ぶジャンプである。SJ 高と CMJ 高は 3 回ずつ測定し、最大値を記録値とした。RJ は反動を使って連続 8 回跳ぶジャンプである。RJ 高は 2 回実施し、8 回のジャンプ高の平均値を算出し、2 回のうちの平均値が高い方を記録値とした。それぞれの測定の際、ジャンプ高に腕の貢献が入らないように腕振りなしのジャンプで跳ぶように指示した。また、疲労によってジャンプ高の低下が起こらないように休憩を挟みながら行った。

2-2. アキレス腱の形態

測定項目は、アキレス腱長、アキレス腱厚、下腿長とした。本章の研究において下腿長は

床から膝窩皺までの距離とし、右脚で下腿長を測定した。また、下腿長あたりのアキレス腱長としてアキレス腱長を下腿長で除したアキレス腱長/下腿長比(%)を算出した。身長あたりの下腿長およびアキレス腱長として下腿長とアキレス腱長は身長で除した、下腿長/身長比(%)とアキレス腱長/身長比(%)を算出した。アキレス腱長、アキレス腱厚は、超音波画像診断装置(LOGIQ P5, GE Healthcare UK Ltd, England)と4.5cm、12.0Hzのリニアプローブ(12L プローブ, GE Healthcare UK Ltd, England)を用いてBモードにて測定した。測定時には被験者に膝関節完全伸展位及び足関節角度0度(解剖学的中間位)で伏臥位の姿勢を保持させた。アキレス腱長は右腓腹筋内側頭の筋腱移行部からアキレス腱の踵骨付着部までとし、それらの位置は超音波画像診断装置を用いて確認し、被験者の皮膚上にマークした。マークをつけた2点の間の距離はマルチン氏型骨盤計径測器を用いて測定し、これをアキレス腱長とした。アキレス腱厚は右足の外果の高さで水平面にリニアプローブをあて測定した。また、アキレス腱厚の算出は超音波画像診断装置本体の機能を用いて算出を行った。

2-3. 足関節の力学的特性

足関節最大背屈角度と足関節受動トルクを測定項目とし、足関節スティフネスを算出項目とした。被験者を多用途筋機能運動評価装置(Biodex System3, Biodex medical, UK)に右膝関節最大伸展位で座らせ、右足をフットプレートにベルトでしっかりと固定し、フットプレートの回転軸と外果の位置が一直線になるようにした。本章の研究においてはフット

プレートが地面に対して垂直の位置にある時を足関節角度 0° （背屈 0° ）とし、フットプレートの回転角度を足関節角度とした。また、背屈位の角度を正とした。フットプレートを底屈 30° の位置から毎秒 1° の回転速度で受動的に背屈させ、最大背屈角度と足関節受動トルクを測定した。最大背屈角度の決定においては、被験者が痛みを感じた時にストップボタンを押させる自己申告により行った。この際、自己申告に視覚情報によるバイアスがかからないように被験者に目隠しをさせた。また、安全のため、いつでも足関節の背屈を止められるようにストップボタンを被験者に持たせ、また験者も別のストップボタンの近くに立ち測定を行った。この測定を 1 人 3 回行い、最大背屈角度を記録値とした。また、その試行において出力された足関節受動トルクと足関節角度から足関節スティフネスを算出した。足関節スティフネスは、測定して得られた角度—受動トルク曲線から最終背屈可動域 12 degree 区間の最大背屈角度 (MDA : maximal dorsiflexion ankle angle)、MDA -4 degree、MDA -8 degree、MDA -12 degree の 4 点でのそれぞれの傾きをスティフネスとした (14, 39)。

2-4. 下肢筋力の測定

被験者を多用途筋機能運動評価装置のイスに座らせ、胸、腹部、大腿をベルトでしっかりと固定し、角速度を 60 degree/sec に設定し、最大努力で 3 回の膝関節伸展・屈曲動作を行わせ測定し、体重あたりの最大トルク (Nm/kg) を算出した。左右それぞれの脚で 1 回ずつ測定した。また、測定の前に最大下の力で十分に練習を行ってから測定を行った。

2-5. 統計処理

被験者の年齢、競技歴、身長、体重、および各測定項目は、平均値±標準偏差で示した。

2 群間の有意差検定には、対応のない t 検定を用い、各測定項目と各ジャンプ高との関係の

評価については、ピアソンの積率相関係数を用いた。有意水準は $p < 0.05$ とした。

第3節 結果

3-1. ジャンプ高

水泳群とバレーボール群のジャンプ高を図 2-1 に示した。

SJ 高、CMJ 高、RJ 高は、水泳群に比べ、バレーボール群で有意に大きかった。

3-2. アキレス腱の形態

水泳群とバレーボール群の身体的特徴を表 2-1 に示した。

身長、体重、下腿長、アキレス腱長、下腿長/身長比、アキレス腱長/身長比、アキレス腱長/下腿長比、アキレス腱厚は、水泳群に比べ、バレーボール群の方が有意に大きかった。

水泳群とバレーボール群の身体的特徴およびアキレス腱の形態と各ジャンプ高の相関係数を表 2-2、表 2-3 に示した。

水泳群において、アキレス腱長、アキレス腱長/身長比およびアキレス腱長/下腿長比と RJ 高との間で有意な相関関係があった。しかし、バレーボール群では身長、体重および、アキレス腱形態の全てのパラメータと各ジャンプ高との間に相関関係はなかった。

両群を合わせたアキレス腱長/下腿長比と CMJ 高、RJ 高の相関図を図 2-2、図 2-3 に示した。両群を合わせたアキレス腱長/下腿長比と CMJ 高、RJ 高の間には有意な相関関係があった。

3-3. 足関節の力学的特性

水泳群とバレーボール群の最大背屈角度および足関節スティフネスを表 2-4 に示した。

最大背屈足関節角度のみ、バレーボール群に比べ、水泳群で有意に大きかった。受動トルクと足関節角度から算出した、MDA、MDA -4 degree、MDA -8 degree、MDA -12 degree での足関節スティフネスには、群間に有意な差はなかった。

水泳群とバレーボール群の最大背屈角度および足関節スティフネスと各ジャンプ高の相関係数を表 2-5 に示した。両群で最大背屈角度および足関節スティフネスと各ジャンプ高との間に相関関係はなかった。

3-4. 下肢筋力

水泳群とバレーボール群の下肢筋力を表 2-6 に示した。

右脚の膝関節伸展・屈曲筋力、左脚の膝関節伸展・屈曲筋力において、水泳群とバレーボール群の間に有意な差はなかった。

水泳群とバレーボール群の膝関節伸展・屈曲筋力と各ジャンプ高との相関係数を表 2-7 に示した。

水泳群では、右脚の膝関節伸展筋力と各ジャンプ高との間に有意な相関関係があり、左脚の膝関節伸展筋力と CMJ 高、RJ 高との間に有意な相関関係があった。一方、バレーボール

群では左脚の膝関節伸展筋力と CMJ 高との間にのみ有意な相関関係があった。

第4節 考察

4-1. ジャンプ高

SJ 高、CMJ 高、RJ 高は水泳群に比べて、バレーボール群で有意に大きかった。勝田ら²²⁾の研究では、女子跳躍選手、女子バレーボール選手、非鍛錬者を対象としてジャンプ高を比較したところ、跳躍選手とバレーボール選手で非鍛錬者よりも有意に高かった。また、男子バレーボール選手と定期的に運動を行っていない男子学生を対象としてジャンプ高を比較したところ、バレーボール選手で有意に高かった²¹⁾。これらの先行研究から、競技特性として日常的にジャンプをする機会が多いアスリートは一般人に比べてジャンプ高が大きいと考えられる。このように、跳躍を多用する競技選手と一般人と比較する研究が多い。本章の研究では長期間行ってきた競技特性の違いに着目し、競技レベルは高いが鉛直方向の跳躍を多用しない競技を行っている水泳群と多用する競技を行っているバレーボール群でジャンプ高の比較を行った。すなわち、本章の研究と先行研究^{21、22)}とではジャンプ高を比較する被験者の性別や運動レベルは異なるが、日常的に SSC を用いるような跳躍動作を行っているアスリートの方がジャンプ高は大きい結果になると考えられる。

4-2. アキレス腱の形態

バレーボール群においては、アキレス腱の形態と各ジャンプ高との間に相関関係がある測定項目はなかったが、両群を合わせたデータにおいてはアキレス腱長/下腿長比と CMJ 高、RJ 高との間に有意な相関関係があった。また、日常的に跳躍を多用しているバレーボール群は日常的に跳躍を多用していない水泳群に比べてアキレス腱長やアキレス腱厚が大きかった。

Kongsgaard ら²⁷⁾の異なる競技選手におけるアキレス腱の形態を比較した研究では、長距離ランナー、バレーボール選手、カヤック選手、アキレス腱断裂患者でアキレス腱長/下腿長比を比較したところ、群間で有意差はなかった。アキレス腱の断面積は間欠的負荷のあるバレーボール選手で長距離ランナー、カヤック選手、アキレス腱断裂患者よりも有意に大きかった。また、体重あたりのアキレス腱の断面積は長距離ランナーにおいてバレーボール選手よりも有意に大きかった。一方で、Houghton ら¹⁵⁾の研究では、8週間のプライオメトリックトレーニング前後でアキレス腱の長さはほとんど変わらないと示している。著者の知る限り、異なる種目のアスリートのアキレス腱長/下腿長比に差があることは報告されておらず、またアキレス腱長/下腿長比がジャンプ高に関連した因子であることについての報告もない。本章の研究では、競技特性が特徴的である2つの種目のアスリートを比較したためにこのような結果を得たと考えられる。

本章でバレーボール群が水泳群よりも有意にアキレス腱厚が大きかったのは、長期間

行ってきた大きなパワーを用いるジャンプを多用することによりアキレス腱厚が大きくなったと考えられる。反対に、水泳群は飛び込みや水泳のキック動作はあるものの、競技特性として水中にいる機会が多く、バレーボール群よりもアキレス腱に対して直接的に高負荷がかかっていないため、バレーボール群よりもアキレス腱厚が小さかったと考えられる。すなわち、アキレス腱厚の大きさの違いは長期間行われてきた競技特性によるアキレス腱へかかる負荷の大きさの違いである可能性がある。

4-3. 足関節の力学的特性

最大背屈足関節角度は、バレーボール群に比べ、水泳群で有意に大きかったが、スティフネスは、群間で有意差がなかった。また、両群の各ジャンプ高とスティフネスとの間に相関関係はなかった。スティフネスとは硬さや伸びにくさを表す指標として、ストレッチング研究やストレッチショートニングサイクル(SSC)に関する筋腱複合体の研究において多く用いられている^{31, 40)}。レジスタンストレーニングやプライオメトリックトレーニングを用いた縦断的な介入研究では、介入前後を比較すると、ジャンプ高およびスティフネスの増大が報告されている^{9, 10)}。また、ジャンプに関連するスティフネスとして、アキレス腱スティフネス、大腿四頭筋腱スティフネス、足関節スティフネスが多く研究されている^{7, 28, 29, 30)}。Bojsen-Møller ら⁷⁾は大腿四頭筋の筋腱スティフネスとSJ 高、CMJ 高との間に有意な相関関係があったことを示し、一方 Kubo ら³⁰⁾の研究では、足関節スティフネスとSJ 高、CMJ 高、DJ 高との間、アキレス腱スティフネスとCMJ 高、DJ 高との間に相関関係はなかったとしている。この結果の違いはスティフネスの測定部位が異なることに起因する。本章では、足関節スティフネスを再現性が高く測定できると考えられる受動的に関節を屈曲させる方法にて足関節スティフネスを測定したが、ジャンプ高との関連は明らかにならなかった。

4-4. 下肢筋力

水泳群に比べ、ジャンプ高が大きかったバレーボール群においては、左脚の膝関節伸展筋力とCMJ 高との間にのみに相関関係があり、高いジャンプ高は下肢筋力だけに依存するものではないことが明らかになった。ジャンプ高と下肢筋力、股関節伸展・屈曲筋力との関係については多く研究されている^{7, 50)}。甲斐ら²⁰⁾は一般男性と一般女性を対象としてジャンプ高への下肢筋力の貢献度を比較したところ、男性において反動を用いない垂直ジャンプ高と等尺性膝関節伸展筋力との間に有意な相関関係があった。また、今ら³²⁾の一般男性を被験者に行った研究では、レッグパワーと垂直跳びとの間に有意な相関関係があったとしている。本章の水泳群は一般人における先行研究と同様に膝関節伸展筋力とジャンプ高との間に有意な関係があったという結果になったが、バレーボール群においては下肢筋力とジャンプ高との関連は少なかった。本章の被験者は一般人ではなく競技レベルの高い選手であるために、競技力向上のために日常的に下肢をトレ

ーニングしていた。競技選手では、ジャンプ高の大きさは下肢筋力だけに依存するものではないことが考えられる。しかしながら、本章の研究においては 60 degree/sec という角速度でのみ測定を行ったため、今後はさらに速い角速度での下肢筋力測定が必要であると考えられる。

表 2-1 水泳群とバレーボール群の身体的特徴とアキレス腱の形態

	水泳群	バレーボール群	<i>p</i> 値
身長 (cm)	174.6 ± 6.2	180.9 ± 4.0	<i>p</i> < 0.05
体重 (kg)	70.0 ± 6.9	76.3 ± 9.1	<i>p</i> < 0.05
下腿長 (cm)	45.8 ± 2.3	48.3 ± 1.4	<i>p</i> < 0.05
下腿長/身長比 (%)	26.3 ± 0.9	26.7 ± 0.7	n.s.
アキレス腱長 (cm)	20.6 ± 1.9	23.5 ± 1.6	<i>p</i> < 0.05
アキレス腱長/身長比 (%)	11.8 ± 1.1	13.0 ± 0.9	<i>p</i> < 0.05
アキレス腱長/下腿長比 (%)	45.0 ± 4.4	48.7 ± 2.6	<i>p</i> < 0.05
アキレス腱厚 (cm)	0.43 ± 0.04	0.46 ± 0.04	<i>p</i> < 0.05

値は平均 ± 標準偏差

n. s. : not significant

下腿長/身長比 (%) : 下腿長/身長×100、アキレス腱長/身長比 (%) : アキレス腱長

/身長×100、アキレス腱長/下腿長比 (%) : アキレス腱長/下腿長×100

表 2-2 水泳群の身体的特徴およびアキレス腱の形態と各ジャンプ高との相関係数

	S J高	CM J高	R J高
身長 (cm)	-0.01	-0.27	0.04
体重 (kg)	-0.08	-0.36	-0.24
下腿長 (cm)	-0.02	-0.15	0.00
下腿長/身長比 (%)	-0.02	0.07	-0.03
アキレス腱長 (cm)	-0.18	0.03	0.10
アキレス腱長/身長比 (%)	-0.19	0.13	0.09
アキレス腱長/下腿長比 (%)	-0.24	0.12	0.11
アキレス腱厚 (cm)	0.10	0.21	-0.23

表 2-3 バレーボール群の身体的特徴およびアキレス腱の形態と各ジャンプ高との相関係数

		水泳群	バレーボール群	p 値
stiffness (degree)	最大背屈角度 (degree)	29.4 ± 10.4	20.7 ± 11.1	$p < 0.05$
	M D A	1.51 ± 0.55	1.62 ± 0.75	n.s.
	M D A-4 degree	1.29 ± 0.46	1.43 ± 0.58	n.s.
	M D A-8 degree	1.06 ± 0.46	1.24 ± 0.67	n.s.
	M D A-12 degree	0.84 ± 0.54	1.05 ± 0.94	n.s.

* : $p < 0.05$

表 2-4 水泳群とバレーボール群の最大背屈角度と各関節角度での足関節ステ
ィフネス

水泳群	SJ高	CM J高	R J高
最大背屈角度 (degree)	0.07	0.20	0.26
M D A	0.01	-0.05	-0.21
M D A-4 degree	-0.03	-0.05	-0.28
M D A-8 degree	-0.06	-0.05	-0.33
M D A-12 degree	-0.08	-0.03	-0.31

表 2-5 水泳群とバレーボール群の最大背屈角度および各関節角度での足関節
スティフネスと各ジャンプ高との相関係数

		水泳群	バレーボール群	p 値
膝関節伸展屈曲筋力 (Nm /kg)	右脚伸展	2.5 ± 0.6	2.8 ± 0.5	n.s.
	右脚屈曲	1.2 ± 0.3	1.4 ± 0.3	n.s.
	左脚伸展	2.4 ± 0.6	2.8 ± 0.6	n.s.
	左脚屈曲	1.2 ± 0.3	1.4 ± 0.3	n.s.

バレーボール群	SJ高	CM J高	R J高
最大背屈角度 (degree)	0.06	0.03	0.12
M D A	-0.40	-0.34	-0.19
M D A-4 degree	-0.30	-0.35	-0.07
M D A-8 degree	-0.07	-0.23	0.10
M D A-12 degree	0.08	-0.11	0.18

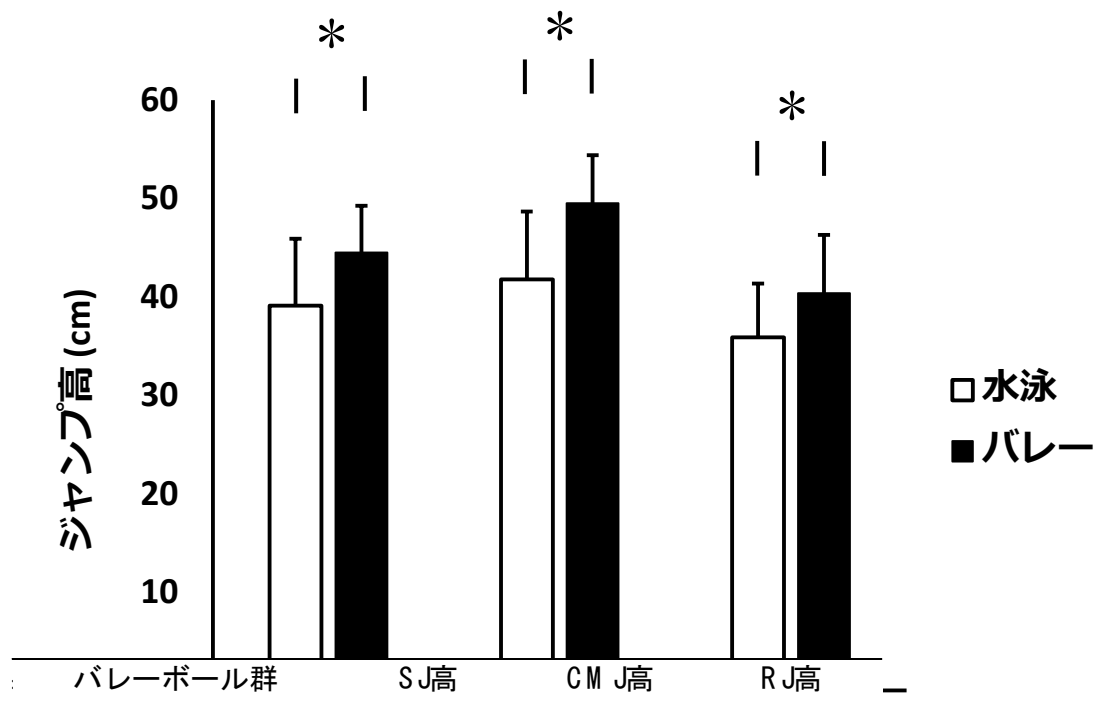
表 2-6 水泳群とバレーボール群の膝関節伸展・屈曲筋力

値は平均 ± 標準偏差

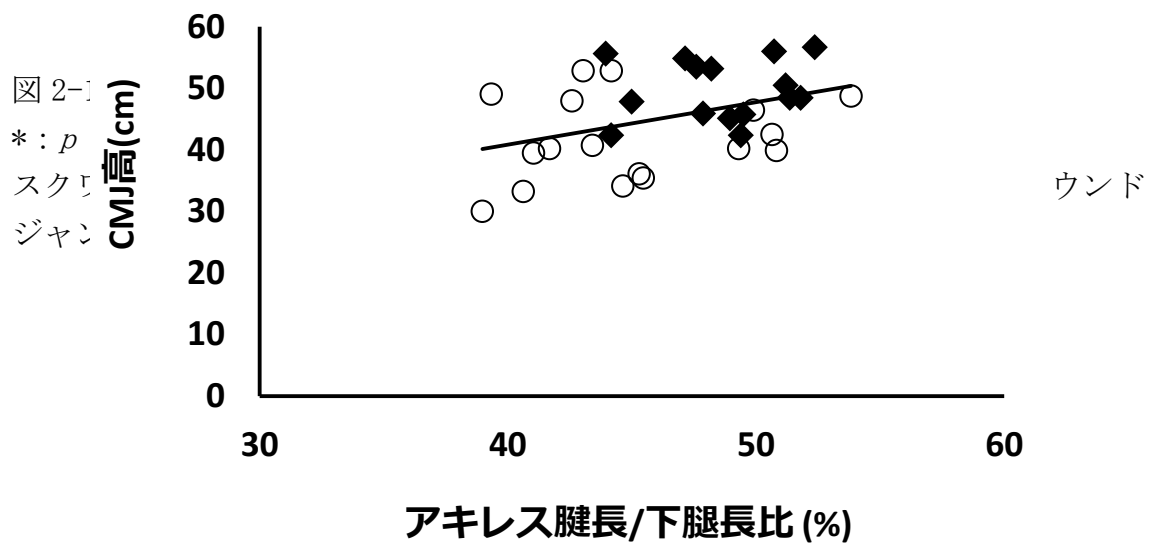
n. s. : not significant

水泳群	SJ高	CM J高	R J高
右脚伸展	0.49*	0.60*	0.72*
右脚屈曲	0.26	0.42	0.39
左脚伸展	0.45	0.56*	0.64*
左脚屈曲	0.38	0.46	0.44

表 2-7 水泳群とバレーボール群の膝関節伸展・屈曲筋力と各ジャンプ高との相
関係数



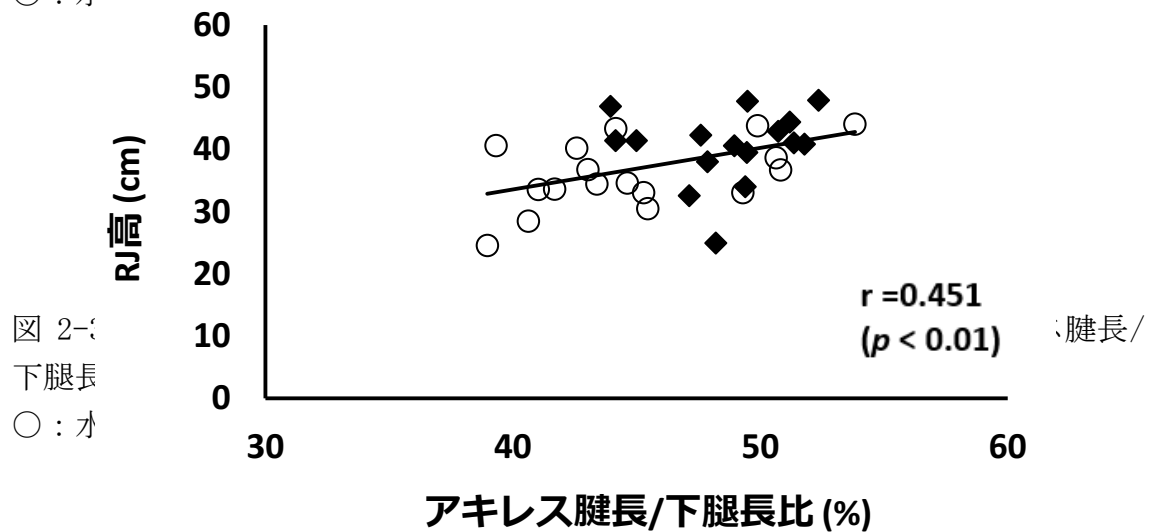
右脚伸展	0.01	0.12	-0.11
右脚屈曲	-0.11	0.27	0.01
左脚伸展	0.06	0.51*	-0.14
左脚屈曲	-0.07	0.22	-0.14



$r = 0.385$
($p < 0.05$)

図 2-2 水泳群とバレーボール群のカウンタームーブメントジャンプ (CMJ) 高とアキレス腱長/下腿長比の散布図

○: 水泳群 ▲: バレーボール群



下肢筋力発揮特性および筋の形状がジャンプ高に及ぼす影響

—バレーボール選手と水泳選手の比較検討—

第1節 目的

第2節 方法

第3節 結果

第4節 考察

第1節 目的

本章の目的は、長期間競技を行ってきたバレーボール選手と水泳選手において、下肢筋力発揮特性および筋の形状について比較検討し、これらのアスリートにおいてジャンプに関連する因子であるか否かを明らかにすることを目的とした。

第2節 方法

1. 被験者

被験者は大学の体育会系クラブに所属する男子水泳選手 14 名(身長: 175.4 ± 6.2 cm, 体重: 73.0 ± 6.7 kg, 年齢: 20 ± 1 歳, 競技歴: 13 ± 2 年)と男子バレーボール選手 14 名(身長: 180.5 ± 4.7 cm, 体重: 74.3 ± 10.8 kg, 年齢: 19 ± 1 歳, 競技歴: 9 ± 2 年)とした。水泳群は 1 回あたり約 2 時間の朝夕の練習を週 10 回行う全日本インカレ出場レベルの選手であり、バレーボール群は 1 回あたり約 2 時間の練習を週 6 回行う全日本インカレ出場レベルの選手であった。被験者はすべて、現役で専門競技をしている者で下肢に怪我を有していない選手とした。また、バレーボール選手においては、競技特性として日常的にジャンプ動作が多いアタッカーを被験者とした。水泳選手においては、短距離選手 7 名、中距離選手 5 名、長距離選手 2 名であった。また、専門種目別では自由形 4 名、バタフライ 5 名、平泳ぎ 2 名、個人メドレー 3 名であった。

全ての被験者に対し、口頭と書面において事前に研究の目的と方法、測定に伴う危険性など十分に説明し、書面にて同意を得た後に本章の研究を行った。また、未成年の被験者には被験者本人と、保護者の同意書を得た。本章の研究は中京大学倫理委員会の承認を得て行った。

2. 実験プロトコル

2-1. ジャンプ高の測定

ジャンプ高の測定は第 2 章 2-1. ジャンプ高の測定と準ずる方法で行った。

リバウンドジャンプ(RJ)高は 8 回ジャンプした最初と最後の各 2 回のジャンプを除いた 4 回の平均値を算出し、測定した 2 回のうちの平均値が高い方を記録とした。

また、スクワットジャンプ (SJ) 高とカウンスタームーブメントジャンプ (CMJ) 高から $\{(CMJ \text{ 高} - SJ \text{ 高}) / SJ \text{ 高} \times 100\}$ の式により反動効果を算出した。また、RJ 高を接地時間で除することにより RJ 指数を算出した。RJ 指数については 8 回ジャンプを行った最初の 2 回と最後の 2 回を除いた 4 回の平均値を記録とした。

2-2. 下肢筋力の測定

下肢筋力の測定は第 2 章 2-4. 下肢筋力の測定と準ずる方法で行った。

多用途筋機能運動評価装置 (Biodex System3, Biodex medical, UK) を用いて最大努力での股関節伸展・屈曲筋力、膝関節伸展・屈曲筋力、足関節底屈・背屈筋力を測定した。60 degree/sec、120 degree/sec、180 degree/sec の角速度で測定した。右脚を測定脚とし、各測定を 3 回行った。各動作の最高値を最大トルクとし、記録としては体重で除した最大トルク/体重比を用いた。測定の前に最大下の力で数回練習を行ってから測定を行った。また、下肢筋力測定の練習のために実験日とは別に練習日を設けた。

2-3. 外側広筋の羽状角の形態計測

右脚の外側広筋の羽状角を測定するために、被験者をベッドの上で仰臥位の姿勢にさせ、ゴニオメーターを用いて膝関節角度が 10° となるように膝窩の下にタオルを置き、脚を完全にリラックスさせた状態で測定を行った。また、体液移動が起こるようにこの姿勢で 15 分寝かせてから測定を開始した。これらの測定方法の妥当性および再現性については先行研究に示されている^{5, 43)}。

外側広筋の羽状角の測定は超音波画像診断装置 (LOGIQ P5, GE Healthcare UK Ltd, England) を用いて測定した。外側広筋の羽状角は、右脚の大転子から膝窩皺の 50% の位置にリニアプローブ (12L プローブ, GE Healthcare UK Ltd, England) をあて測定し、3 回測定した平均値を記録値とした。羽状角の算出は超音波断層装置本体の機能を用いて算出を行った。

2-4. データ分析

被験者の年齢、競技歴、身長、体重および各測定項目は、平均値±標準偏差で示した。統計処理は SPSS ver. 23 (Windows) を使用した。2 群間の有意差の検定は対応のない t 検定を用いて行い、各測定項目と各ジャンプ高との関係については、ピアソンの積率相関係数を用いた。有意水準は $p < 0.05$ とした。

第3節 結果

3-1. ジャンプ高

水泳群とバレーボール群のジャンプ高の結果を図 3-1 に示した。SJ 高、CMJ 高、RJ 高は、水泳群に比べ、バレーボール群で有意に大きかった。

水泳群の反動効果、RJ 指数はそれぞれ $6.3 \pm 8.7 \%$ 、 $0.67 \pm 0.28 \text{ m/sec}$ であった。バレーボール群の反動効果、RJ 指数はそれぞれ $10.7 \pm 8.1 \%$ 、 $1.31 \pm 0.77 \text{ m/sec}$ であった。反動効果においては群間で有意差がなかったが、RJ 指数においては水泳群よりバレーボール群で有意に大きかった。

3-2. 下肢筋力

水泳群とバレーボール群の下肢筋力の結果を表 3-1 に示した。60 degree/sec、120 degree/sec での膝関節屈曲筋力、120 degree/sec での足関節背屈筋力は水泳群に比べ、バレーボール群で有意に大きかった。水泳群とバレーボール群のジャンプ高と下肢筋力の相関係数を表 3-2、表 3-3 に示した。水泳群では、下肢筋力の全てのパラメータと SJ 高、CMJ 高、RJ 高との間に相関関係はなかった。一方、バレーボール群では、60 degree/sec での膝関節伸展筋力、足関節背屈筋力、120 degree/sec と 180 degree/sec での膝関節伸展筋力、足関節底屈筋力と SJ 高、CMJ 高、RJ 高との間に有意な相関関係があった。

3-3. 外側広筋の羽状角

水泳群とバレーボール群の身体的特徴および外側広筋の羽状角を表 3-4 に示した。羽状角は水泳群に比べ、バレーボール群の方が有意に小さかった。また、水泳群において、以下のように羽状角と各ジャンプ高および全ての角速度での膝関節伸展・屈曲筋力との間に相関関係はなかった。羽状角と SJ 高、CMJ 高、RJ 高の相関係数はそれぞれ 0.01、-0.02、-0.13 であった。羽状角と 60、120、180 degree/sec での膝関節伸展筋力の相関係数はそれぞれ -0.20、-0.20、0.12 であった。羽状角と 60、120、180 degree/sec での膝関節屈曲筋力の相関係数はそれぞれ 0.06、0.20、0.28 であった。

バレーボール群においては、羽状角と各ジャンプ高との間に相関関係はなかったが、

羽状角と 120 degree/sec での膝関節伸展筋力との間に有意な相関関係があった($r=0.54$) (図 3-2)。羽状角とそれ以外の膝関節伸展・屈曲筋力との間には以下のように相関はなかった。羽状角と SJ 高、CMJ 高、RJ 高の相関係数はそれぞれ 0.32、0.25、0.35 であった。羽状角と 60、180 degree/sec での膝関節伸展筋力の相関係数はそれぞれ 0.42、0.50 であった。羽状角と 60、120、180 degree/sec での膝関節屈曲筋力の相関係数はそれぞれ 0.28、0.39、0.25 であった。

第 4 節 考察

4-1. ジャンプ高

SJ 高、CMJ 高、RJ 高は水泳群に比べて、バレーボール群で有意に大きかった。この結果は、ジャンプ高が水泳群よりもバレーボール群で有意に大きかったという第 2 章の結果と一致した。反動効果は群間で有意差がなかったが、RJ 指数は水泳群よりもバレーボール群で有意に大きかった。

反動を伴う動作は SSC を用いるため反動を伴わない動作と比べてより大きな力を発揮することができる。反動効果とは、反動を伴わない動作に対する反動を伴う動作の増加率として表されており、本章において反動効果は SJ 高と CMJ 高の差から算出した。水泳群とバレーボール群において反動効果に有意差はなかったが、両群ともに反動を用いない SJ 高よりも反動を用いる CMJ 高の方が大きかったことから、水泳群とバレーボール群は反動の効果を有効に使えていたと考えられる。

一方、RJ 指数は下肢筋群の SSC の能力を評価する指標として用いられており、RJ テストを用いた研究は数多く、また陸上の跳躍種目やバレーボールなどにおいて SSC を用いるトレーニングとしても用いられている。また、RJ 指数は特に下肢筋力の大きな筋発揮能力と運動遂行時間を短縮する能力とされる足関節筋群の働きなどの神経系の要因の 2 つから成っているとの報告がある^{53, 55, 56)}。

バスケットボールを専門とする男子学生 10 名を対象に 7 週間のプライオメトリックトレーニングとしてリバウンドドロップジャンプを行った図 54) の研究において、トレーニング前後で RJ 高および接地時間を測定したところ、トレーニングによってリバウンドドロップジャンプの接地時間は有意に減少し、リバウンドドロップジャンプ高は変化しなかったと報告されている。先行研究^{53, 54, 55, 56)}から、SSC を伴うジャンプトレーニングは神経系の要因を向上させ、運動遂行時間を短縮することが示唆される。日常的に SCC 運動を用いてできるだけ短い時間のなかで鉛直方向に素早く踏み切り、大きな筋力発揮を伴って高い跳躍動作を行っていることが、バレーボール群の RJ 指数が高かったことにつながったと考えられる。

4-2. 下肢筋力

バレーボール群では特に速い角速度での股関節、膝関節伸展筋力および足関節底屈筋力とジャンプ高との間に相関があったが、水泳群では全ての角速度での下肢筋力とジャンプ高との間に相関はなかった。このことから、競技によって速い角速度での下肢筋力がジャンプ高に関連する因子になる場合と関連する因子とならない場合があることが明らかとなった。

トップレベルの女子バスケットボール選手 18 名を被験者として、異なる角速度での膝関節伸展筋力と垂直ジャンプ (VJ) 高を測定した Rouis ら³⁸⁾の研究では、240 degree/sec での膝関節伸展筋力と VJ 高で有意な相関関係があること示されている。男子学生 29 名を被験者として、ジャンプ高と異なる 3 種類の角速度での股関節伸展筋力、膝関節伸展筋力、足関節底屈筋力を測定した Tsiokanos ら⁵⁰⁾の研究では、120 degree/sec と 180 degree/sec での股関節伸展筋力と SJ 高、CMJ 高、60 degree/sec での足関節底屈筋力と SJ 高、CMJ 高との間に有意な相関関係があった。また、全ての角速度での膝関節伸展筋力と SJ 高、CMJ 高との間に有意な相関があったと報告している。

このように、特に速い角速度での下肢筋力とジャンプ高には関連があることが示されており、これらの結果は本章のバレーボール群の結果に準じている。一方、本章の水泳群では先行研究^{38, 50)}と一致しない結果となった。

水泳群では競技特性としてスタート時での飛び込みやターン動作はあるものの、その飛び込みやターン動作は水平方向であり、ターン動作は水の抵抗がかかる中で行われている。そのため、実際の競技では SSC を用いて鉛直方向に速く高くジャンプを行う筋発揮能力を必要とする機会がないため、ジャンプ高の大きさは下肢筋力に依存するものではないことが推測される。一方、競技特性として SSC を用いて鉛直方向に速く高くジャンプをする回数が多いバレーボール群では、実際の競技ではなるべく短い時間で大きな筋発揮を行う筋発揮能力が必要であるため下肢筋力の大きさがジャンプ高を決定する要因になると考えられる。特にリバウンドジャンプに貢献すると考えられる膝関節伸展筋力や足関節底屈筋力における速い角速度での力発揮は高いジャンプ高の獲得に重要となると考えられる。さらに、両競技において SSC はあるものの、SSC を用いる環境や用いる方法が異なることによってジャンプに関する筋発揮特性が競技によって異なると考えられる。

第 3 章の結果と第 2 章の 60 degree/sec での膝関節伸展屈曲筋力と各ジャンプ高との相関関係とは異なっていた。この理由については明らかではないが、下肢筋力測定において第 2 章での下肢筋力測定前に測定の練習を行い、第 3 章での下肢筋力測定は別日に練習を行うなどの練習日の設け方の違いが結果に影響した可能性が考えられる。

4-3. 外側広筋の羽状角

水泳群の方が羽状角は有意に大きかったが、各ジャンプ高と外側広筋の羽状角との間

には両群ともに相関関係はなかった。また、水泳群において、羽状角と下肢筋力との間に相関関係はなかったが、バレーボール群では、羽状角と 120 degree/sec での膝関節伸展筋力との間に有意な相関関係があった。

Mangine ら³³⁾の学生 28 名を被験者として行った研究では、利き足の大腿直筋の羽状角と最大垂直ジャンプのパワーとの間に有意な負の相関があったことを示している。一方で、男女共に両脚の外側広筋の羽状角と最大ジャンプのパワーと平均ジャンプのパワーとの間に相関関係はなかったと示している。また、男性においては両脚の外側広筋の筋束長と最大垂直ジャンプ、平均垂直ジャンプのパワーとの間に有意な相関関係がないことを示している。Erap ら⁸⁾の一般男性 25 名を被験者に行った研究では、外腓腹筋の羽状角のみ SJ 高と CMJ 高を有意に予測する因子と示した。また、外腓腹筋の羽状角は SJ 高、CMJ 高やドロップジャンプ(DDJ)高のパワー、外腓腹筋の筋厚は SJ 高、CMJ 高や DDJ 高のピークパワーを予測する因子であり、外側広筋の羽状角は SJ 高、CMJ 高や DDJ 高やパワーを予測する因子ではないことを示している。

本章の結果から、バレーボール群においては外側広筋の羽状角は下肢筋力と関連する因子であることが明らかとなったが、バレーボール群および水泳群において外側広筋の羽状角はジャンプ高に関連する因子ではないことが明らかとなった。

	SJ高	CM J高	RJ高						
60 degree/sec				泳群	バレーボール群				
股関節				肩関節	足関節	股関節	膝関節	足関節	
伸展	-0.09	-0.19	-0.18						
屈曲	0.09	0.17	0.17						
膝関節				± 0.5	0.8 ± 0.3	2.0 ± 0.5	2.6 ± 0.7	0.9 ± 0.4	
伸展	0.02	-0.05	0.38						
屈曲	-0.04	-0.02	0.07	± 0.4	0.6 ± 0.3	1.8 ± 0.6	2.2 ± 0.6	0.7 ± 0.3	
足関節				± 0.5	0.5 ± 0.2	1.6 ± 0.7	1.8 ± 0.6	0.5 ± 0.2	
底屈	0.29	0.41	0.43						
背屈	0.05	0.08	0.13						
120 degree/sec				± 0.2	0.4 ± 0.0	1.7 ± 0.4	1.4 ± 0.3*	0.4 ± 0.0	
股関節				± 0.2	0.3 ± 0.1	1.6 ± 0.4	1.2 ± 0.3*	0.4 ± 0.1*	
伸展	-0.18	-0.22	-0.29						
屈曲	0.20	0.23	0.95	± 0.2	0.3 ± 0.1	1.4 ± 0.4	1.0 ± 0.3	0.3 ± 0.1	
膝関節									
伸展	0.12	0.09	0.16						
屈曲	0.15	0.22	0.20						
足関節									
底屈	0.24	0.38	0.33						
背屈	0.27	0.36	0.36						
180 degree/sec				筋力の相関関係					
股関節									
伸展	-0.18	-0.23	-0.32						
屈曲	0.07	0.09	0.05						
膝関節									
伸展	-0.01	0.00	-0.13						
屈曲	0.02	0.04	-0.14						
足関節									
底屈	0.22	0.41	0.33						
背屈	0.11	0.12	0.12						

	SJ高	CM J高	R J高		
60 degree/sec					
股関節				バレーボール群	p 値
伸展	0.70**	0.49	0.48	肩と 180.5 ± 4.7	p < 0.05
屈曲	0.47	0.31	0.15		
膝関節				74.3 ± 10.8	n.s.
伸展	0.77**	0.67**	0.64*	19.4 ± 3.4	p < 0.05
屈曲	0.44	0.37	0.40		
足関節					
底屈	0.47	0.43	0.43		
背屈	0.58*	0.64*	0.58*		
120 degree/sec					
股関節					
伸展	0.53	0.37	0.33		
屈曲	0.37	0.25	0.11		
膝関節					
伸展	0.79**	0.69**	0.64*		
屈曲	0.60*	0.47	0.41		
足関節					
底屈	0.59*	0.54*	0.51		
背屈	0.40	0.37	0.33		
180 degree/sec				身体的特徴と羽状角の群間比較	
股関節					
伸展	0.56*	0.40	0.42		
屈曲	0.47	0.28	0.19		
膝関節					
伸展	0.79**	0.66**	0.66**		
屈曲	0.51	0.45	0.47		
足関節					
底屈	0.66*	0.56*	0.58*		
背屈	0.38	0.50	0.45		

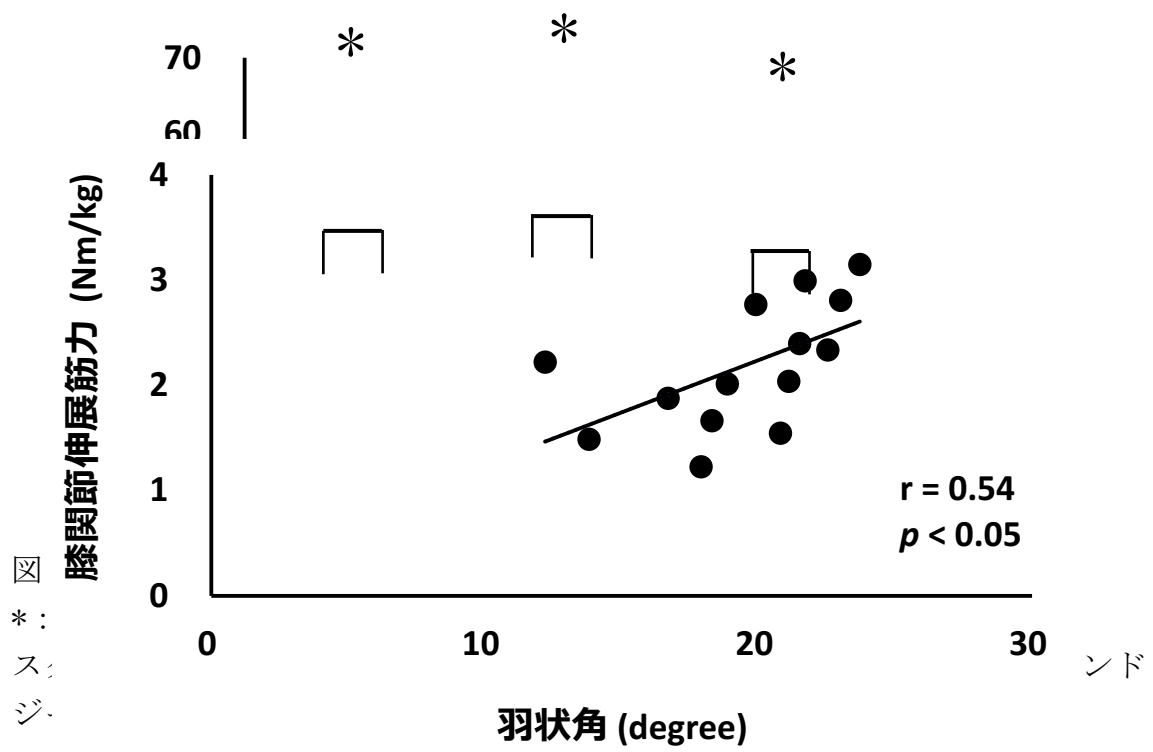


図 3-2 バレーボール群の 120 degree/sec での膝関節伸展筋力と羽状角の相関

第 4 章

総括

本研究の目的に対する結論とまとめ
参考文献

謝辞

本研究の目的に対する結論とまとめ

1. 腱の形態

第2章の結果、水泳群よりもバレーボール群においてアキレス腱長、アキレス腱長/身長比、アキレス腱長/下腿長比、アキレス腱厚が大きく、異なる競技のアスリートにおいてアキレス腱の形態が異なる場合があることが明らかとなった。また、バレーボール群ではアキレス腱長の指標と各ジャンプ高との間に有意な相関関係はなかったが、水泳群ではアキレス腱長、アキレス腱長/身長比、アキレス腱長/下腿長比と RJ 高との間に有意な相関関係があった。また、両群を合わせたアキレス腱長/下腿長比と CMJ 高および RJ 高との間に有意な相関関係があった。このことから、アスリートにおいてアキレス腱長/下腿長比はジャンプ高に関連する因子となる場合があることが明らかとなった。一方、アキレス腱厚はバレーボール群で有意に大きかったが、ジャンプ高との間に有意な相関関係はなかった。バレーボール群において長期間繰り返し行っているジャンプ動作はアキレス腱の形態に影響を及ぼす可能性が考えられる。特にアキレス腱に高負荷がかかることによってアキレス腱厚が大きくなることが考えられた。

2. 足関節の力学的特性

第2章の結果、最大背屈角度はバレーボール群よりも水泳群で有意に大きかったが、

足関節スティフネスは群間で有意差はなかった。また、両群の最大背屈角度および足関節スティフネスと各ジャンプ高との間に有意な相関関係はなく、ジャンプ高に関連する因子であるか否かは明らかとならなかった。

第2章では力学的特性として足関節スティフネスについて検討したが、ジャンプ動作は主に下肢全体で行われる動作のため、足関節スティフネスだけではなく、股関節や膝関節のスティフネスとジャンプ高との関連についても今後検討する必要があると考えられる。

3. 下肢筋力

第3章の結果、バレーボール群では特に速い角速度での股関節、膝関節伸展筋力および足関節底屈筋力とジャンプ高との間に有意な相関関係があったが、水泳群では速い角速度での下肢筋力とジャンプ高との間に有意な相関関係はなかった。このことから、競技によって速い角速度での下肢筋力がジャンプ高に関連する因子になる場合と関連する因子とならない場合があることが明らかとなった。長期間の競技特性に応じたトレーニングがこの結果に影響を及ぼした可能性が考えられる。

4. 本研究のリミテーション

本研究は横断的な研究のため、ジャンプ高に関連する因子の差異が長期間の競技特性

に応じたトレーニングに起因するか否かは明確とはならず、アスリートがもともと持っていた特性であった可能性は否定できない。また、本研究の水泳群は様々な種目の選手であったため、対象者の種目を統一すると結果が異なる可能性が考えられる。さらに、本研究で測定した各被験者の人数は 20 名以下であり、重回帰分析によるジャンプ高に関連する因子の詳細な検討までに至らなかった。

参考文献

- 1) Ae M, Shibukawa K. A biomechanical method for the analysis of the contribution of the body segments in human movement—with an example of vertical jump Take-off—. 体育学研究 25(3), 233-243, 1980.
- 2) 相澤 高治, 松田 雅弘. 股関節屈曲・伸展筋力とジャンプ能力テストの関係性の検討. 理学療法科学 25, 889-892, 2010.
- 3) 明石 正和, 横内 靖典, 武藤 幸政, 畠山 栄子. スポーツ選手の形態および最大無酸素パワーに関する事例的研究. 城西大学研究年報 18, 37-50, 1994.
- 4) Alter MJ, 山本 利春[監訳]. 柔軟性の科学. 大修館書店, p80, 2010.
- 5) Bembien MG. Use of diagnostic ultrasound for assessing muscle size. J Strength Cond Res 16(1), 103-108, 2002.
- 6) Bobbert MF, Gerritsen KG, Litjens MC, Van Soest AJ. Why is countermovement jump height greater than squat jump height?. Med Sci Sports Exerc 28(11), 1402-1412, 1996.
- 7) Bojsen-Møller J, Magnusson SP, Rasmussen LR, Kjaer M, Aagaard P. Muscle performance during maximal isometric and dynamic contractions is influenced by the stiffness of the tendinous structures. J Appl Physiol 99(3), 986-994, 2005.

- 8) Earp JE, Joseph M, Kraemer WJ, Newton RU, Comstock BA, Fragala MS, Dunn-Lewis C, Solomon-Hill G, Penwell ZR, Powell MD, Volek JS, Denegar CR, Häkkinen K, Maresh CM. Lower-body muscle structure and its role in jump performance during squat, countermovement, depth drop jump. *J Strength Cond Res* 24(3), 722-729, 2010.
- 9) Fouré A, Nordez A, Cornu C. Plyometric training effects on Achilles tendon stiffness and dissipative properties. *J Appl Physiol* 109(3), 849-854, 2010.
- 10) Fouré A, Nordez A, McNair P, Cornu C. Effects of plyometric training on both active and passive parts of the plantarflexors series elastic component stiffness of muscle-tendon complex. *Eur J Appl Physiol* 111(3), 539-548, 2011.
- 11) González-Ravé JM, Juárez D, Rubio-Arias JA, Clemente-Suarez VJ, Martinez-Valencia MA, Abian-Vicen J. Isokinetic leg strength and power in elite handball players. *J Hum Kinet* 41, 227-233, 2014.
- 12) 花城 均, 本村 恵, 日高 敬兒, 池上 寿伸, 坂元 康成. バレーボールジャンプに必要な要因の検討. *J Fac Cul. Edu Saga Univ* 6(2), 293-302, 2002.
- 13) 原 樹子, 立正伸, 横澤 俊治, 平野 裕一. スクワットジャンプの股関節初期角度の違いがパフォーマンスに与える影響. *Japanese Journal of Elite Sports Supports* 1, 21-31, 2008.

- 14) Herda TJ, Herda ND, Costa PB, Walter-Herda AA, Valdez AM, Cramer JT. The effects of dynamic stretching on the passive properties of the muscle-tendon unit. *J Sports Sci* 31(5), 479-487, 2013.
- 15) Houghton LA, Dawson BT, Rubenson J. Effects of plyometric training on achilles tendon properties and shuttle running during a simulated cricket batting innings. *J Strength Cond Res* 27(4), 1036-1046, 2013.
- 16) 深代 千之. 反動動作のバイオメカニクス：伸張-短縮サイクルにおける筋-腱複合体の動態. *体育学研究* 45, 457-471, 2000.
- 17) Hunter GR, McCarthy JP, Carter SJ, Bamman MM, Gaddy ES, Fisher G, Katsoulis K, Plaisance EP, Newcomer BR. Muscle fiber type, Achilles tendon length, potentiation, and running economy. *J Strength Cond Res* 29(5), 1302-1309, 2015.
- 18) Ikegawa S, Funato K, Tsunoda N, Kanehisa H, Hukunaga T, Kawakami Y. Muscle force per cross-sectional area is inversely related with pennation angle in strength trained athletes. *J Strength Cond Res* 22(1), 128-131, 2008.
- 19) 伊藤 浩充, 村上 茉貴子, 沖田 祐介, 鈴木 郁. バレーボールジャンプの跳躍高と踏切時の下肢の関節角度および筋活動との関係—スパイクとブロックとの比較—. *甲南女子大学研究紀要* (4), 7-13, 2010.
- 20) 甲斐 義浩, 村田 伸, 相馬 正之, 田守 康彦, 藤田 美和子, 中井 啓太,

石川 晴美, 中崎 千秋, 窓場 勝之. 垂直跳びにおける下肢筋力の貢献度—男女の特性比較—. ヘルスプロモーション理学療法研究 3(3), 109-112, 2013.

21) 勝田 茂, 秋間 広, 神原 奈津紀, 高橋 英幸, 関子 浩二, 都澤 凡夫. バレーボール選手と非鍛錬者におけるアキレス腱の形態的特性とジャンプパフォーマンスとの関係. 筑波大学体育科学紀要 20, 159-166, 1997.

22) 勝田 茂, 高橋 英幸, 中林 真知子, 稲木 光晴, 福原 祐三, 村木 征人, 尾縣 貢, 新津 守. アキレス腱の形態的特性がジャンプパフォーマンスに及ぼす影響. 筑波大学体育科学紀要 21, 23-34, 1998.

23) Kawakami Y, Abe T, Fukunaga T. Muscle fiber pennation angles are greater in hypertrophied than in normal muscles. J Appl Physiol 74(6), 2740-2744, 1993.

24) Kawakami Y, Abe T, Kuno SY, Fukunaga T. Training-induced changes in muscle architecture and specific tension. Eur J Appl Occup Physiol 72(1-2), 37-43, 1995.

25) 木越 清信, 岩井 浩一, 島田 一志, 尾縣 貢. ドロップジャンプにおける姿勢が下肢関節 Kinetics およびジャンプパフォーマンスに及ぼす影響. 体育学研究 49(5), 435-445, 2004.

26) 小林 公一. ヒト大腿四頭筋の筋線維構成について. 昭和学会雑誌 51(2), 186-196, 1991.

- 27) Kongsgaard M, Aagaard P, Kjaer M, Magnusson SP. Structural Achilles tendon properties in athletes subjected to different exercise modes and in Achilles tendon rupture patients. *J Appl Physiol* 99(5), 1965-1971, 2005.
- 28) Kubo K, Kanehisa H, Ito M, Fukunaga T. Effects of isometric training on the elasticity of human tendon structures in vivo. *J Appl Physiol* 91(1), 26-32, 2001.
- 29) Kubo K, Kanehisa H, Fukunaga T. Effects of different duration isometric contractions on tendon elasticity in human quadriceps muscles. *J Physiol* 536.2, 649-655, 2001.
- 30) Kubo K, Morimoto M, Komuro T, Tsunoda N, Kanehisa H, Fukunaga T. Influences of tendon stiffness, joint stiffness and electromyographic activity on jump performances using single joint. *Eur J Appl Physiol* 99(3), 235-243, 2007.
- 31) Kubo K, Morimoto M, Komuro T, Yata H, Tsunoda N, Kanehisa H, Fukunaga T. Effects of plyometric and weight training on muscle-tendon complex and jump performance. *Med Sci Sport Exerc* 39(10), 1801-1810, 2007.
- 32) 今 直樹, 高見 彰淑, 皆方 伸, 佐々木 誠. 健康成人男性における両脚および片脚等速性脚伸展筋力と運動能力との関係. *理学療法科学* 24(3), 143-146, 2009.
- 33) Maigne GT, Fukuda DH, LaMonica MB, Gonzalez AM, Wells AJ, Townsend JR,

Jajtner AR, Fragala MS, Stout JR, Hoffman JR. Influence of gender and muscle architecture asymmetry on jump and sprint performance. J Sports Sci Medicine 13(4), 904-911, 2014.

34) 中雄 勇人, 間中 葵, 斎藤 慶子, 田島 昌紘, 須田 光, 石田 真規. 陸上短距離走におけるスタートダッシュと SSC 運動能力との関連. 群馬大学教育学部紀要 51, 77-82, 2016.

35) Nuzzo JL, McBride JM, Cormie P, McCaulley GO. Relationship between countermovement jump performance and multijoint isometric and dynamic testes of strength. J Strength Cond. Res 22(3), 699-707, 2008.

36) 岡野 憲一, 谷川 聡. バレーボール国内男子トップリーグの試合中における跳躍頻度に関する研究. バレーボール研究 18(1), 27-31, 2016.

36) Rosenberger A, Beijer Å, Johannes B, Schoenau E, Mester J, Rittweger J, Zange J. Changes in muscle cross-sectional area, muscle force, and jump performance during 6 weeks of progressive whole-body vibration combined with progressive, high intensity resistance training. J Musculoskelet Neuronal Interact 17(2), 38-49, 2017.

37) Rouis M, Coudrat L, Jaafar H, Filliard JR, Vandewalle H, Barthelemy Y, Driss T. Assessment of isokinetic knee strength in elite young female basketball

- players: correlation with vertical jump. J Sports Med Phys Fitness 55(12), 1502-1508, 2015.
- 38) Rousanoglou EN, Georgiadis GV, Boudolos KD. Muscular strength and jumping performance relationships in young women athletes. J Strength Cond Res 22(4), 1375-1378, 2008.
- 39) Ryan ED, Beck TW, Herda TJ, Hull HR, Hartman MJ, Costa PB, Dffreitas JM, Stout JR, Cramer JT. The time course of musculotendinous stiffness responses following different durations of passive stretching. J Orthop Sports Phys Ther 38(10), 632-639, 2008.
- 40) 佐久間 香, 西村 純, 大畑 光司, 市橋 則明. ドロップジャンプ跳躍高向上に影響する運動学的要素の検討. 理学療法科学 24(2), 263-267, 2009.
- 41) Sattler T, Sekulic D, Esco MR, Mahmutovic I, Hadzic V. Analysis of the association between isokinetic knee strength with offensive and defensive jumping capacity in high-level female volleyball athletes. J Sci Med Sport 18(5), 613-618, 2015.
- 42) Scanlon TC, Fragala MS, Stout JR, Emerson NS, Beyer KS, Oliveira LP, Hoffman JR. Muscle architecture and strength: adaptations to short-term resistance training in older adults. Muscle Nerve 49(4), 584-592, 2014.

- 43) Sheppard JM, Cronin JB, Gabbett TJ, McGuigan MR, Etxebarria N, Newton RU. Relative importance of strength, power, and anthropometric measures to jump performance of elite volleyball players. J Strength Cond Res 22(3), 758-65, 2008.
- 44) 杉浦 加枝子, 合屋 十四秋. 大学熟練者におけるけのび動作の性差. 愛知教育大学教育実践総合センター紀要 7, 91-95, 2004.
- 45) 杉浦 加枝子, 合屋 十四秋, 鶴峰 治, 高橋 繁浩, 小粥 由美子. 熟練者におけるけのび動作と力発揮との関係. 水泳水中運動科学 4, 11-15, 2001.
- 44) 水藤 弘吏, 尾関 一将, 布目 寛幸, 池上 康夫. 競泳のキックスタートパフォーマンスと等尺性・等速性脚筋力との関係. 水泳水中運動科学 18(1), 4-9, 2015.
- 46) 田中 信雄, 辻田 純三, 堀 清記, 千賀 康利, 大槻 寅之助, 山崎 武. スポーツマンの体格および体型に関する研究—競技種目別による運動選手の体格の差異について—. 体力科学 26(3), 114-123, 1997.
- 47) 鳥海 清司, 天野 義裕樹, 寺澤 健次. 立ち幅跳び踏切時における各関節でのパワー発揮の特徴～垂直跳びとの比較から～. 中京大学体育学論叢 30(1), 23-33, 1988.
- 48) Tsiokanos A, Kellis E, Jamurtas A, Kellis S. The relationship between jumping performance and isokinetic strength of hip and knee extensors and ankle

plantar flexors. Isokinetics and Exercise Science 10, 107-115, 2002.

49) 角田 直也, 多賀 恒雄, 浜田 拓, 荒木 一彦, 矢田 秀昭. 膝関節伸展筋と屈曲筋群の短縮性及び伸張性活動による筋出力特性. 国士館大学体育研究所報 10(11), 41-47, 1992.

50) 角田 直也, 松本 高明, 滝山 将剛, 西山 一行, 中野 雅之. 筋形態と筋出力特性に及ぼすスポーツ競技種目特性. 国士館大学体育研究所報 14, 47-52, 1995.

51) 図子 あまね, 荻山 靖, 図子 浩二. リバウンドジャンプテストを用いた跳躍選手の専門的な下肢筋力・パワーに関する評価. 体力科学 66(1), 79-86, 2017.

52) 図子 浩二. バスケットボール選手におけるプライオメトリックスがジャンプとフットワーク能力およびパス能力に及ぼす効果. 体力科学 55, 237-246, 2006.

53) 図子 浩二, 高松 薫. リバウンドドロップジャンプにおける踏切時間を短縮する要因: 下肢の各関節の仕事と着地に対する予測に着目して. 体育学研究 40, 29-39, 1995.

54) 図子 浩二, 高松 薫, 古藤 高良. 各種スポーツ選手における下肢筋力およびパワー発揮に関する特性. 体育学研究 38, 256-278, 1993.

謝辞

本研究を進めるにあたり、多くの方々にお世話になりました。ここに深く感謝の意を表します。

本研究を遂行し、本論文をまとめるにあたり、終始懇切丁寧なご指導を賜りました、指導教官である中京大学スポーツ科学部教授 梅村 義久先生に深く感謝致します。研究活動だけでなく、梅村先生の授業補助、梅村ゼミの手伝い等を通して研究や教育の難しさ、授業を行うことの楽しさを教えていただきました。

また、研究に悩むことも多く、何度も研究がうまく進まない時があり苦しみましたが、先生の適格な助言もあり、本論文を執筆することができました。本当にありがとうございます

いました。

貴重なご教示や助言を賜りました中京大学学事顧問 北川 薫先生、中京大学教授 松本 孝朗先生、中京大学教授 荒牧 勇先生、中京大学講師 大家 利之先生、元中京大学教授 山本 高司先生、運動生理学研究室助手 原田 健次様、国立スポーツ科学センター 松本 実様、国立スポーツ科学センター 鈴木 栄子様、運動生理学研究室の諸先輩方、大学院生に深く感謝致します。

名古屋大学准教授 水野貴正先生は学部時のゼミ選択、大学院進学、研究活動で悩み苦しみ迷った時に的確なアドバイスをくださり、大学院生活をサポートしてくださいました。本当にありがとうございました。

本研究を遂行するにあたり、実験に協力してくださった中京大学教授 高橋繁浩先生、中京大学講師 草薙 健太先生、中京大学水泳部の皆様、中京大学男子バレーボール部監督 青山 繁様、中京大学男子バレーボール部の皆様に深く感謝致します。

最後に、大学院に進学する機会を与えてくださり、私の研究活動をいつも応援してくれた両親、妹達、親戚一同には言葉では表せないほどの感謝の気持ちでいっぱいです。

中京大学運動生理学研究室で学んだことを糧に、今後も研究者、教育者として成長していきます。

皆様、本当にありがとうございました。